УДК 551.594.221

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Дульзон, В.П. Горбатенко

НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета
E-mail: gorbatenko@hvd.tpu.ru

Приведены основные результаты исследований пространственного распределения грозовой активности на территории Томской области. Характеристики грозовой активности, зафиксированные с помощью грозорегистраторов, сравниваются с оценками грозовой активности, полученными на основе теоретических расчетов. Разработка косвенных методов оценки грозовой активности актуальна в связи с отсутствием на территории России регулярных инструментальных наблюдений над грозами.

Работы, связанные с распределением грозовой деятельности в пространстве и во времени, ведутся в лаборатории молниезащиты НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете более 30 лет. Работы проводились, в основном, на хоздоговорной основе, а их целью было обеспечение Энергосистем картами грозовой активности. Результатом многолетней работы коллектива стали карты среднего числа дней с грозой и средней продолжительности гроз для ряда энергосистем Сибири и Казахстана ("Томскэнерго", "Карагандаэнерго", "Южказэнерго", "Алтайэнерго", "Запказэнерго", "Гурьевэнерго", "Кустанайэнерго", "Целинэнерго" и др.), утвержденные в Министерстве энергетики в качестве нормативных.

В настоящей работе приводятся основные результаты исследований пространственного распределения грозовой активности на территории Томской области.

С вопросами молниезащиты и пространственного распределения молниевых разрядов приходится сталкиваться специалистам многих отраслей. Возрастает количество высотных зданий и площадь застройки; в промышленности применяются горючие и взрывоопасные вещества; в электронике и связи чаще используются чувствительные электронные приборы, которые чутко реагируют на возмущения, вызванные грозовыми разрядами. Результатом повреждений могут быть нарушения нормального функционирования производства, а в отдельных случаях, поражения молнией приводят к трагическим последствиям.

В настоящее время в ряде стран (США, Япония, Франция, Германия и др.) информация об интенсивности гроз в виде карт плотности разрядов молнии в землю может быть получена с развернутых там серийно выпускаемых многопунктовых систем местоопределения молний (LPATS) [1]. С помощью этих систем можно различить вид молнии (внутри облака или облако-земля), поляризацию и амплитуду тока молний между облаком и землей. Эффективность определения наземных молний достигает 98 %. Стоимость таких систем не позволяет надеяться на их массовое использование в обозримом будущем на обширной территории нашей страны. Поэтому в России основными источниками информации о грозоопасности территорий остаются визуально-слуховые наблюдения на метеорологических станциях и эпизодические инструментальные наблюдения. Инструментальные наблюдения за грозами (количеством разрядов молнии за единицу времени на единице площади) проводились в ряде пунктов Европейской территории России, в Восточной Сибири, в некоторых районах Западной Сибири и Казахстана. Однако надежные данные о результатах непосредственного определения плотности разрядов молнии в землю не были получены, поскольку наблюдения были не продолжительными.

Поскольку потребителей всегда интересовали и интересуют мезомасштабно-пространственные распределения значений плотности разрядов молнии над конкретными районами работы по их определению проводились в НИИ ВН в двух направлениях:

1. Создание сети грозорегистраторов в Томской области и определение с их помощью параметров молнии, характерных для этого района.
2. Разработка косвенных оценок для определения значений плотности разрядов молнии в землю.

Инструментальные наблюдения над разрядами молнии осуществлялись на 10 метеорологических станциях Томской области в течение грозовых сезонов 1985–1988 гг.

В НИИ ВН были сконструированы счетчики молний, типа рекомендованных СИГРЭ (Международной конференции по большим энергетическим системам) [2], фильтр которых них имеет максимум амплитудно-частотной характеристики в области 10 кГц (СИГРЭ 10 кГц), а порог срабатывания – 6 В/м. Важнейшими характеристиками любого счетчика молний являются эффективный радиус действия (R) и коэффициент селекции (γ), определяющий долю наземных разрядов в общем числе регистраций счетчика. Для области умеренных широт средние характеристики счетчиков СИГРЭ 10 кГц: R – 16 км, γ – 0.93, временное разрешение счетчиков для регистрации разряда составляет 1 с. Однако эти характеристики в значительной степени зависят от места установки прибора, поскольку и эффективный радиус действия и коэффициент селекции зависят от параметров распределения амплитуд токов молнии и от соотношения плотностей облачных и наземных разрядов.

Это создавало определенные трудности в интерпретации результатов измерений, но несомненным достоинством метода было наличие количественных оценок грозовой активности, не зависящих от человеческого фактора. Хотя, в Томской области сеть существовала 4 года, наблюдения позволили определить, что по территории области диапазон изменений значений плотности разрядов молнии в землю изменяется от 1,6 до 4,2 разрядов на 1 кв. км в год (рис 1).

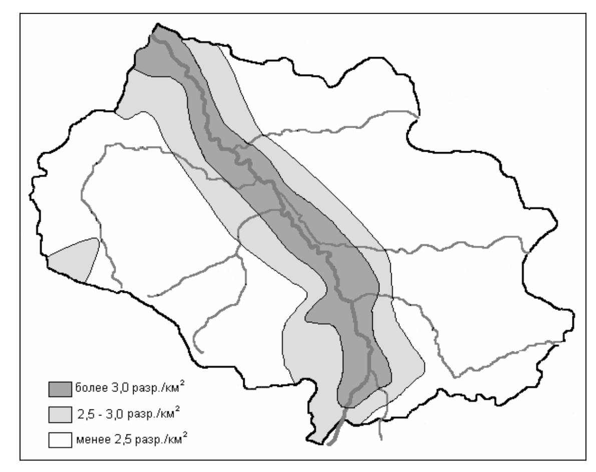


Рис. 1. *Среднегодовые значения плотности разрядов молнии в землю для территории Томской области, полученные по данным сети счетчиков*

Таким образом впервые было обнаружено, что наибольшие значения приходятся на долину р. Обь, что связано, возможно, с наличием, геоэлектрической неоднородности, создаваемой крупной рекой. Наименьшие – на таежные области право- и левобережья. Полученные результаты отражали лишь общую картину пространственной неоднородности распределения плотности разрядов молнии в землю. Более подробную информацию можно было получить, увеличив количество грозоотметчиков, но осуществить это не удалось, как не удалось сохранить созданную сеть, по причине отсутствия финансирования.

Для развития второго – теоретического метода определения значений плотности разрядов молнии в землю, было предпринято ряд попыток.

В начале для косвенной оценки плотности разрядов молнии в землю (*Ng*) традиционно [3] использовали эмпирические формулы зависимости плотности разрядов молнии от среднего числа дней с грозой за год (*T*) ли средней за грозовой сезон продолжительности гроз (*P*), которая представляет собой следующее уравнение:

$$Ng = a \cdot T^{b} \text{ км}^{-2}\text{год}^{-1}, \qquad (1)$$

Либо

$$Ng = a \cdot P^{b} \text{ км}^{-2}\text{год}^{-1}, \qquad (2)$$

где *a* и *b* – эмпирические коэффициенты.

Коэффиценты для каждой территории предлагались различные. В [3] показано, что коэффициент *a* изменяется в пределах 0,1...0,2; а коэффициент *b* близок 1. По данным [4], коэффициенты *a* и *b* составляют 0,049 и 1,22 соответственно.

Поскольку оценка значений плотности разрядов молнии в землю базировалась на знании пространственного распределения визуально наблюдаемых характеристик грозовой активности, нами были построены и утверждены в качестве нормативных карты грозовой деятельности для ряда энергосистем. Была разработана и утверждена Минтопэнерго РФ «Отраслевая методика создания нормативных карт грозовой деятельности для равнинных и холмистых территорий».

Основу методики составляли оценки ожидаемых значений грозовой активности на территориях, где отсутствовали не только инструментальные, но и метеорологические наблюдения вообще. Задачу осложняло наличие мезомасштабных очагов повышенной (пониженной) активности гроз достаточно стабильных во времени и являющихся неотъемлемой частью климатической характеристики территории. Огромное влияние на неоднородность грозовой активности в пределах территорий такого масштаба оказывают и особенности мезомасштабной циркуляции, причиной которых является влияние подстилающей поверхности. Несомненно, что активность грозовых процессов для любой территории зависит от множества факторов системы атмосфера-литосфера. Но для территорий расположенных в различных физико-географических условиях, совокупность влияющих факторов может быть различной. Для каждой из исследуемых территорий нами производился анализ множества факторов, влияющих на неоднородность пространственного распределения грозовой активности: климатических характеристик температуры и влажности воздуха, орографии, аномалий геофизических полей, температурно-влажностных свойств подстилающей поверхности [5]. Целью такого анализа являлось выделение факторов, оказывающих наибольшее влияние на неравномерность пространственного распределения грозовой активности в пределах каждой из территорий и выделение факторов общих для всех областей.

Для поиска зависимости между значениями грозовой активности и характеристиками состояния исследуемых территорий был использован метод регрессионного анализа. В результате было получено, что главными факторами на территории Томской области (и на других равнинных территориях), в порядке значимости, являются температурно-влажностные характеристики состояния подстилающей поверхности и аномалии геофизических полей. На холмистых территориях Казахстана в качестве главных факторов выступают орографические особенности, характеристики влажности подстилающей поверхности и величины аномалий геофизических полей. Полученные регрессионные зависимости использовались как для экстраполяции данных о грозовой активности на

территории, где наблюдения не проводились и на территории с редкой сетью наблюдений для интерполяции данных.

На рис. 2 представлено распределение средней продолжительности гроз по территории Томской области с учетом данных метеорологических станций, расположенных не только на территории области, но и вблизи ее границ и в соответствии с разработанными методами интерполяции [6].

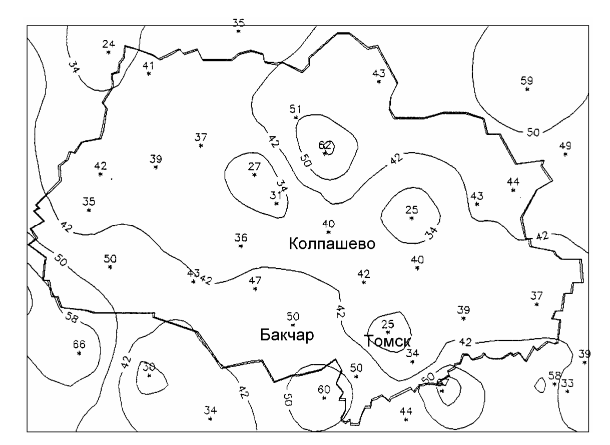


Рис. 2. *Средние значения продолжительности гроз за грозовой сезон на территории Томской области за период 1966–1995 гг.*

Было получено, что за грозовой сезон, на территории области, в среднем, наблюдается 22 дня с грозой, суммарная продолжительность которых – 42 ч. Максимальное число дней с грозой – 28 регистрируется в южных районах области, максимальная суммарная за грозовой сезон продолжительность гроз составляет – 66 ч, минимальные значения – 17 и 23 соответственно. Наибольшее число дней с грозой, которое было зарегистрировано метеорологическими станциями области за период с 1936 по 1995 гг. – 46, наибольшая суммарная за грозовой сезон продолжительность гроз – 110 ч. Сравнение карты плотности разрядов молнии в землю (рис. 1) с картами распределения средних значений числа дней с грозой в году или суммарной за год продолжительности гроз (рис. 2) не позволяет обнаружить общие закономерности в пространственном распределении этих характеристик.

Следовательно, ориентируясь на пространственное распределение визуально наблюдаемых характеристик гроз рассчитать близкие к действительности значения плотности разрядов молнии было невозможно. Причиной тому является тот факт, что формулы (1) и (2), полученные для умеренных широт, в целом хороши для оценки временных изменений характеристик грозовой активности, но не пространственных. Поэтому коэффициенты a и b могут существенно различаться даже на близлежащих станциях. В связи с этим В 90-ые годы прошедшего века нами [7] была предпринята попытка поиска соотношений значений плотности разрядов молнии в землю и среднего числа дней с грозой за год над различными ландшафтами. Основой для составления новой методики оценки пространственного распределения значений плотности разрядов молнии в землю послужило сравнение результатов инструментальных и визуальных наблюдений над грозами над Германией. Для исследований использовались данные о числе дней с грозой 61 метеорологической станции и данные о плотности разрядов молний, полученные наземной многопунктовой разностно-дальномерной системе местоопределения молний LPATS (Lightning Position And Tracking System) [1], предоставленные компанией Siemens AG. Исследовалась территория, ограниченная 46,5...50° с.ш. и 6...14° в.д. за период 1995–1999 гг. В системе LPATS используется метод определения расстояния до грозового разряда по разности времени прихода на разнесенные антенны. Ошибка измерений не превышает по азимуту 1° и по времени 1,5 мкс. Система состоит из пяти приемников, удаленных друг от друга на расстояние от 200 до 300 км, соединенных линиями связи с центральным процессором; системы отображения информации и навигационный спутник, с помощью которого происходит синхронизация времени на субмикросекундном уровне. Внутри исследуемой территории точность измерений достигает 250 м и уменьшается на ее границах до 1000 м. Эффективность определения наземных молний достигает 85...90 %. С помощью системы можно определить координаты точки удара молнии (широта и долгота), поляризацию и амплитуду тока молнии между облаком и землей. Сила тока оценивается по приходящему сигналу. Система направлена, в основном, на местонахождение наземных молний (типа облако-земля и земля-облако), регистрируется лишь небольшая часть (около 10 %) вертикальных разрядов молний внутри облаков.

Для окрестностей каждой из метеорологической станций территорий Германии, по географическим характеристикам схожих со станциями Томской области, были получены следующие значения коэффициентов, входящих в ур. (1): a=0,01; b=1,78. При попытке рассчитать плотность разрядов молнии в землю для территории Томской области с помощью полученных зависимостей, было установлено, что полученные значения, в общих чертах, подтверждали значения плотности разрядов молнии в землю, зарегистрированное с помощью сети счетчиков молний (рис. 1) и, следовательно, могут быть использованы при проектировании молниезащитных мероприятий.

В дальнейшем был разработан и другой, более точный способ оценки плотности разрядов молнии в землю. Метод основан на наличии дискретной информации о молниях, получаемой со спутников. Исходными данными о количестве молний, наблюдаемых из космоса, служили ежедневные данные наблюдений со спутника Microlab-1, доступные в [8], благодаря проекту NASA. Проект по исследованию молний из космоса с помощью детектора OTD (Optical Transient Detector) действовал с апреля 1995 г. по март 2000 г., высота орбиты спутника со-

ставляла 740 км, он облетал землю каждые 100 мин, при этом охватывалась территория земного шара между 80° северной и южной широты. Сравнивая результаты наземных регистраций разрядов молний, полученных с помощью сети LPATS на той же территории Германии и данные спутника, мы построили новую методику для определения средних значений плотности разрядов молнии в землю. Методика приведения данных, полученных спутником, к реальным значениям плотности разрядов молнии в землю отработана на территориях Германии и позволила получить картину пространственного распределения значений плотности разрядов молнии в землю на территории Томской области. В результате проведенных оценок было получено, что для Томской области плотность разрядов молнии в землю изменяется от 2,2 до 0,8 разр./км^2 в год, при среднем значении 1,3 разр./км^2 в год (рис. 3). Повышенная плотность разрядов молнии в землю отмечается в двух районах: первый – между реками Обь и Чулым, в районе населенных пунктов Батурино – Кривошеино – Красный Яр; второй – в верхнем течении реки Обь от Александровского до Усть-Тыма. Пониженная плотность отмечается в следующих районах: Львовки-Пудино, западнее и севернее Белого Яра до Ванжиль-Кынака, а также на юго-восточной окраине Томской области. Сравнивая карты схемы, представленные на рис. 1 и 3, можно отметить, что разные методы определения плотности разрядов молнии в землю дают очень похожую картину. Основная причина различий заключается в следующем: по всей области было установлено только 10 счетчиков, т.е. в среднем по одному счетчику на участок площадью 32 000 км^2. Карта, построенная с использованием спутниковой информации более подробна, поскольку осреднение значений *Ng* производилось для сетки с шагом в 1° по широте и долготе, т.е. в среднем для участков с площадью 6400 км^2.

Все перечисленные выше методы косвенных оценок грозопоражаемости территорий приемлемы с большими ограничениями. Для разработки грозозащитных мероприятий энергетических объектов необходимы детальные карты, отражающие пространственное распределение значений плотности разрядов молнии, их амплитуды и крутизны для практических расчетов величины индуктированных напряжений на конструкциях ЛЭП, устройствах заземлителей, радиорелейных мачт. Для прогноза вероятных атмосферных перенапряжений и обоснованного выбора средств защиты необходимо иметь сеть автоматических грозорегистраторов, способных предоставить необходимую информацию.

В заключение отметим, что организация на территории России хотя бы своеобразных полигонов, где кроме прочих методов определения грозоопасности будут установлены автоматические грозорегистраторы, как никогда актуальна. На фоне потепления климата, наблюдающегося в последнее время над территорией Западной Сибири, неизбежно увеличится количество гроз, следовательно, будет возрастать ущерб от воздействия молний.

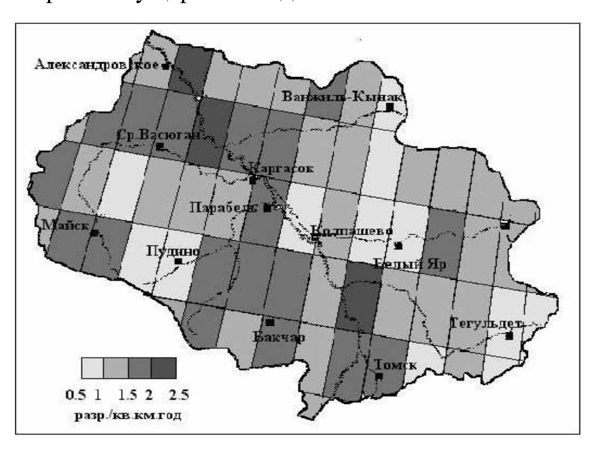


Рис. 3. *Плотность разрядов молнии в землю, оцененная по спутниковым наблюдениям. Томская область. 1995–1999 гг.*

В настоящее время ведущими университетами мира по ининциативе университета штата Вашингтон, США, формируется система всемирной сети регистрации молний «World Wide Lightning Local Network (WWLL)», включающая сегодня 25 станций, расположенных по всему миру [9]. WWLL – сеть станций, регистрирующих молниевые разряды и их координаты в ОНЧ-диапазоне (3...30 кГц) Измерения на станции позволяют не только определять место разряда молнии в землю, но и получать информацию о свойствах ОНЧ-излучений в различных регионах Земли. Заметим, что большинство сигналов, регистрируемых в ОНЧ-диапазоне, представляют собой импульсы от молниевых разрядов. Энергия излучений молниевых разрядов находится в диапазоне от нескольких Гц до нескольких МГц, причем существенная часть сосредоточена в диапазоне до 30 кГц. С помощью глобальной сети WWLL по характеристикам атмосфериков изучается распределение молний на поверхности Земли. В России сегодня существует только одна станция системы WWLL, расположенная на базе ИЗМИРАН (институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн), г. Москва. Участие ТПУ в программе «World Wide Lightning Local Network» позволит продолжить исследования на качественно новом уровне. Опираясь на опыт развитых стран, мы можем утверждать, что если удастся накопить статистический материал по пространственной неоднородности грозопоражаемости российских территорий, этот материал может быть востребован энергетическими и страховыми компаниями в самом ближайшем будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thern S. Blitzortung – Ein neuer Service in Deutschland // EMV Journal. –1993. – V. 4. – № 3. – S. 206–208.
2. Anderson R.B., Eriksson A.J. Lightning parameters for engineering application // Electra. – 1980. – № 69. – P. 65–102.
3. Popolansky F. Correlation between the number of lightning flashes registred by lightning flash counters, the numbers of thunderstorm days and the duration of thunderstorms. SIGRE Report SC 33-71 (WG 011TF 01) 08/CS-IWD, May 1971.
4. Колоколов В.П. О характеристиках глобального распределения грозовой деятельности // Метеорология и гидрология. – 1969. – № 11. – С. 47–56.
5. Горбатенко В.П., Дульзон А.А. Влияние изменения подстилающей поверхности на грозовую активность // География и природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 142–146.
6. Горбатенко В.П., Дульзон А.А., Решетько М.В. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Томской областью // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 12. – С. 21–28.
7. Горбатенко В. П. О зависимости плотности разрядов молнии в землю от интенсивности грозовой деятельности // Электричество. – 2001. – № 7. – С. 16–21.
8. Global Hydrology and Climate Center. – http://thunder.msfc.nasa.gov/data
9. http://flash.ess.washington.edu

УДК 621.284.3